جمهورية مصر العربية
وزارة الآثار

بالتعاون مع

كلية الهندسة
جامعة القاهرة

HERITAGE
INNOVATION
PRESERVATION
HIP.INSTITUTE

معهد الحفاظ على التراث والابتكار

مشروع استكشاف الأهرامات وأسرارها

www.scanpyramids.org

النسخة العربية

مقدمة

ليس لكونه لغزاً يبلغ من العمر 4500 عاماً
فإنه لن يكتشف!"

هذا هو شعار المشروع العلمي العالمي الذي سيبدأ في الخامس والعشرين من الشهر الجاري تحت رعاية وزارة الآثار وبالتعاون مع كلية الهندسة جامعة القاهرة ومعهد الحفاظ على التراث والابتكار بباريسHIP، حيث سيستخدم الباحثون من "كلية الهندسة جامعة القاهرة" و جامعة "لافال" بكندا وجامعة "ناجويا" باليابان أحدث التقنيات في مجال المسح وهي: تقنية التصوير الإشعاعي بجزيئات الميون (Radiographic Muons)، جزيئات أكا الكونية (Aka Cosmic Particles)، التصوير الحراري باستخدام الأشعة تحت الحمراء (Infrared Thermography)، التصوير المساحي (Photogrammetry)، المسح الضوئي وإعادة البناء ثلاثي الأبعاد (Scanning and 3D Reconstruction). ويهدف هؤلاء الباحثون إلى اختراق قلب الأهرامات المصرية دون حفر.

بعد أربعة ألاف سنة من بنائها، لا تزال هذه المباني العملاقة تضن علينا بأسرارها، يتعلق السر الأول بالبناء، وخاصة هرم الملك "خوفو" آخر عجائب الدنيا السبعة الذي لا يزال باقياً حتى

الآن: حيث لا يزال من المستحيل حتى وقتنا هذا وصف الكيفية التى تم من خلالها بناء أكبر مبنى حجري شيده الإنسان، حيث شيد على قاعدة تتعدي مساحتها الـ 5 هكتار ويبلغ ارتفاعه أكثر من 140 متر ووزنه حوالي 5 مليون طن. كيف تمكن قدماء المصريين من بناء تلك العجيبة في 25 سنة فقط؟. لغز آخر وهو البنية الداخلية للأهرامات: فعند المقارنة بين التخطيط المختلف للأهرامات فإننا نواجه أشياء يصعب تفسيرها ونظرا لكونها آخر بيوت للفراعنة في الدولة القديمة (2575 2134 ق.م.) فكان لا بد أن تكون منيعة وألا تنتهك حرمتها. لذا قام مشيدوا الأهرامات بابتكار العديد من الحيل حتى يحموا ما تبقي من ملوكهم.

هناك العديد من الاستكشافات التي تمت في الماضي ولكن بإمكانيات أقل مما نمتلكها في وقتنا الحاضر، ونتج عنها بعض التصورات و الإحتمالات بوجود حجرات سرية.

ويعد المشروع العلمي "استكشاف الأهرامات" مشروعاً غير مسبوق، فهو مشروع واسع النطاق سيبدأ أوائل الشهر القادم (نوفمبر) وسيقوم بتسليط الضوء على أربعة من أهم آثار الأسرة الرابعة (2575 2465 ق.م.) في منطقة دهشور والتي تبعد حوالي 15 كم جنوب سقارة، حيث ستقوم البعثة بدراسة الهرم الجنوبي والذي يسمى الهرم المنحني وكذلك الهرم الشمالي والمعروف باسم الهرم الأحمر وهما الهرمان اللذان قام ببنائهما الملك سنفرو (2575 2551 ق.م.)، بالاضافة لذلك فعلى هضبة الجيزة وعلى بعد حوالي 20 كم من القاهرة ستقوم البعثة بدراسة هرمي خوفو وخفرع واللذان شيدهما ابن الملك سنفرو وحفيده.

هناك أربعة وسائل تقنية غير ضارة سوف يتم تنفيذها: سيتم رسم خريطتين حراريتين للأهرامات من خلال اجهزه الرسم الحراري للكشف عن الاختلافات في الكثافة داخل المبنى الهرمي، حيث سيستخدم الخبير "جون كلود باريه" إحدى التقنيات السريعه لرسم خريطه حرارية، بينما يقوم الخبراء من جامعه "لافال" باستخدام تقنية اخرى لمده عام كامل لرسم خريطه حرارية اكثر دقه. وتهدف التقنيتان الى تحديد ما إذا كان هناك فراغات خلف واجهات الأهرامات أم لا. بالاضافة الى ذلك، فستقوم بعثتان أخريتان من جامعه "ناجويا" بتوظيف تقنية التصوير الإشعاعي بجزيئات الميون الكونيه بهدف التحقق من وجود فراغات غير معلومة داخل الاهرامات وتحديد أماكنها إن وجدت. وهي التقنيات التي يتم تطويرها في اليابان بواسطة فريق من الـ "KEK" (الهيئة العليا لأبحاث تسريع الطاقة) و جامعة "ناجويا".

وكما ذكر هاني هلال الأستاذ بجامعه القاهره والمنسق الرئيسي للمشروع، فان "هناك العديد من النظريات المقترحة من علماء الآثار حول تفسير طريقه إنشاء الاهرامات والغرض من وجود الفراغات بها، غير ان المعنيين بهذا المشروع اغلبهم من الفيزيائيين والمهندسين بهدف توظيف التقنيات للحصول على نتائج مادية ملموسة، ومن ثم يمكن لعلماء الآثار العمل على تفسيرها."

بالتوازي مع عمل البعثات، سوف تقوم شركة "ICONEM" بعمل حملة للتصوير المساحي ثلاثي الأبعاد لهضبة الجيزة وموقع دهشور بكافه آثاره وبدقة تصل الى ١ سم، وستتاح تلك النماذج

الأبعاد لهضبة الجيزة وموقع دهشور بكافه آثاره وبدقة تصل الى ١ سم، وستتاح تلك النماذج والخرائط للباحثين والعامة عن طريق معهد الحفاظ على التراث والابتكار (HIP)، وهو هيئة غير هادفة للربح.

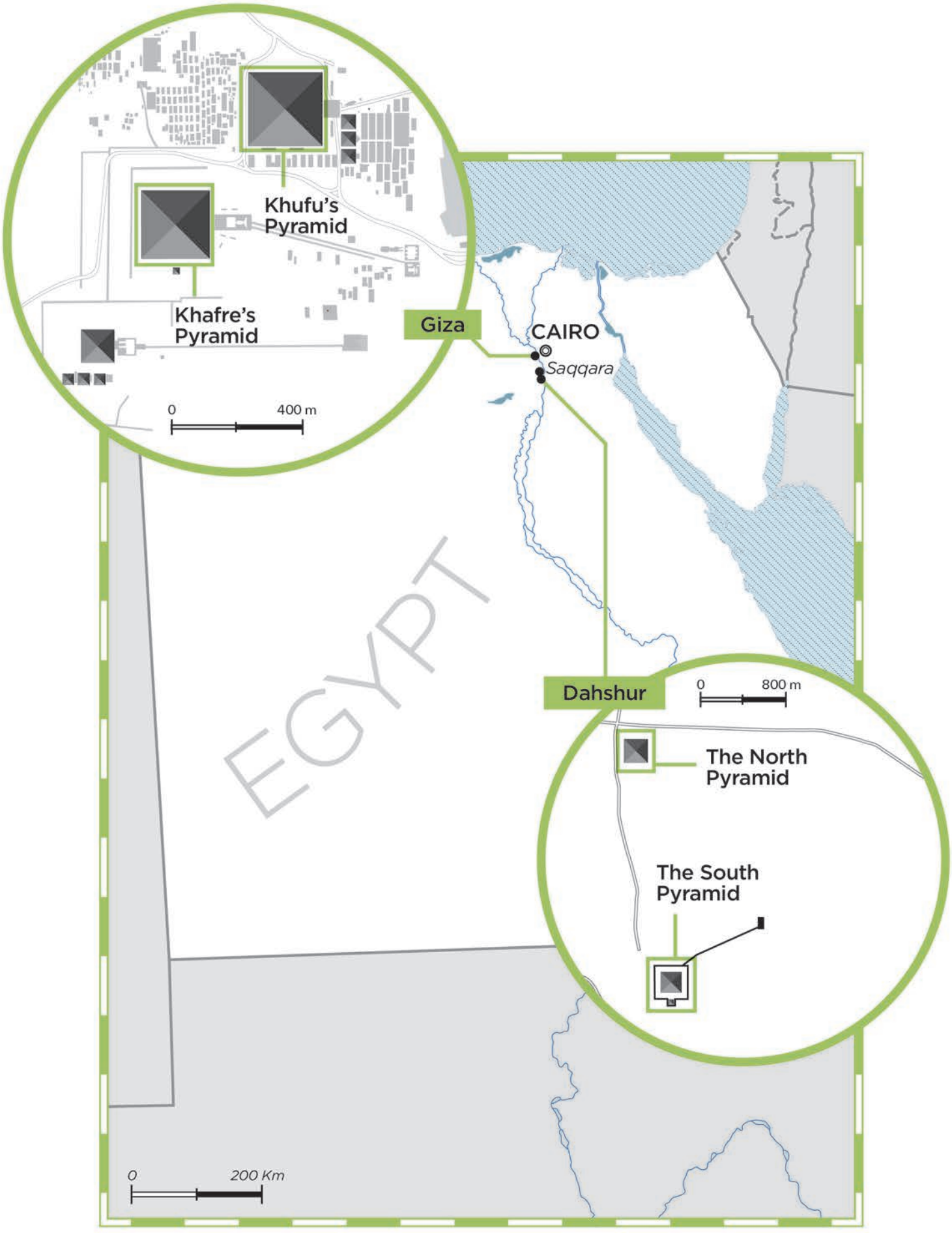
حصل هذا المشروع على الدعم الكامل من قبل الجهات المصريه، ويهدف بالأساس لتوظيف أحدث التقنيات العلميه ونقل التكنولوجيا للباحثين والمختصين بالآثار المصريه. "هدفنا هو تكوين فريق عالمي من الخبراء، ومن ثم مناقشة المناهج النظرية والتقنية على أرض الواقع " صرح بذلك أ. مهدي طيوبي رئيس معهد الحفاظ على التراث والابتكار (HIP) والمنسق المساعد للمشروع.

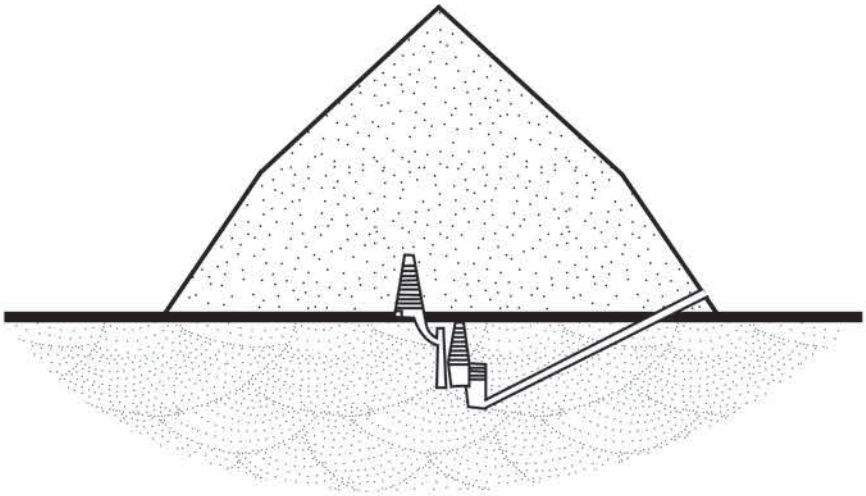
قام الفريق الياباني خلال الشهور الماضية بإنشاء معمل تحميض وتحليل للصور الملتقطة بالقاهرة بواسطة تقنية التصوير الإشعاعي بجزيئات الميون، وعلق ا.د. هاني هلال قائلاً: "إذا ما ثبتت فعالية هذه التقنية، نتوقع تطبيقها على المدى البعيد على آثار أخرى إما لترميمها أو استكشافها ويمكن أيضا تطبيقها في بلاد أخرى."

سيستمر العمل بهذا المشروع حتى نهاية عام 2016، فهل سيتم من خلاله كشف النقاب عن الغموض الذي يكتنف الاهرامات والتي طالما حيرت الأثريين ومحبي علم المصريات؟

يقول مهدي طيوبي، إن "الهدف الاساسي هو التطوير من خلال توظيف منهج علمي جديد، حيث حاولت العديد من بعثات العمل السابقة كشف غموض الاهرامات، وحتى وإن لم يحرزوا نجاحاً ملموساً فقد ساهموا في توفير معلومات جديدة، فعلى سبيل المثال اكتشفت مؤسسة EDF منذ 30 عاماً وجود اختلافات في الكثافة تتخذ شكلاً حلزونياً داخل هرم خوفو، ودورنا هو أن نجعل من اسهاماتنا العلميه منهجا يؤدي الي المزيد من المشروعات العلمية البحثية."

مبان أثرية عملاقة


Khufu's Pyramid
Khafre's Pyramid
0
400 m
Giza
CAIRO
Saqqara
EGYPT
Dahshur
0
800 m
The North Pyramid
The South Pyramid
0
200 Km



الهرم الجنوبي

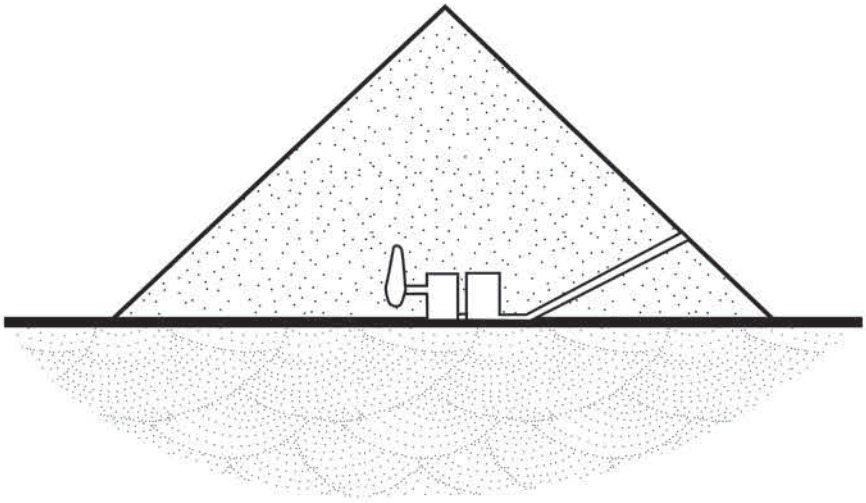
ويطلق عليه أيضاً الهرم المنحني- دهشور

بناه الملك سنفرو، مؤسس الأسرة الرابعة، وهو أول هرم ذو واجهات خارجية ملساء بعد أجيال من الأهرامات المدرجة. ويعد شكله المميز بانحناءاته المزدوجه نتاج تغيير في خطة بناءه كما يعتقد بعض علماء الآثار. فربما أجبر البناؤون على تغيير درجة انحناء الهرم من 54 درجة إلى 43 درجة نظراً لمشكلة إنشائية طارئة. ومن الملامح الأخرى لهذا الهرم: أنه يحتوي على مدخلين أحدهما في الناحية الشمالية والآخر في الناحية الغربية. وتفتح هذه المداخل على ممرين يؤديان إلى حجرتين دفن أحداهما فوق الأخرى.

جانبي قاعدة الهرم: 188 م.

الارتفاع: 105 م.

الزوايا: ″44 ′27 °54 عند القاعدة و '22 °43



الهرم الشمالي

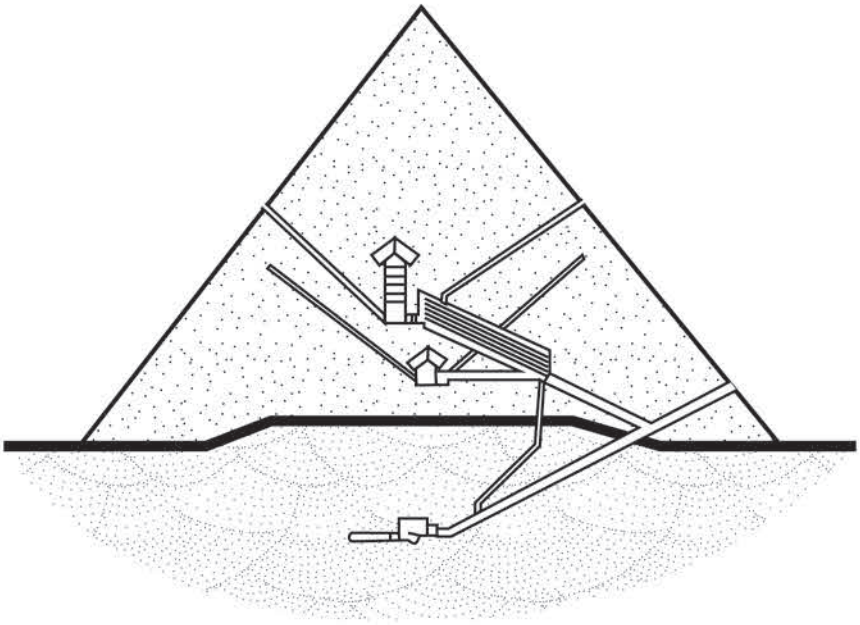
ويطلق عليه أيضاً الهرم الأحمر- دهشور

وهو ثاني هرم بناه الملك سنفرو في دهشور، ويقع على بعد كيلومتر واحد شمال الهرم المنحني، الذي ربما قد يكون ترك لعدم استقراره. وباستخدام زاوية 43 درجة تمكن البناؤون هذه المرة من الحصول على شكل منضبط. يقع مدخل الهرم بالواجهة الشمالية، على ارتفاع 28 متراً ويؤدي ممر هابط إلى حجرتين أماميتين تقع ثانيهما في منتصف الهرم تماماً وتطل على ممر طويل من سبعة أمتار يؤدي إلى حجرة دفن منفردة.

جانبي قاعدة الهرم: 220م.

الارتفاع: 105 م.

الزوايا: ″05 ′22 °43



هرم خوفو

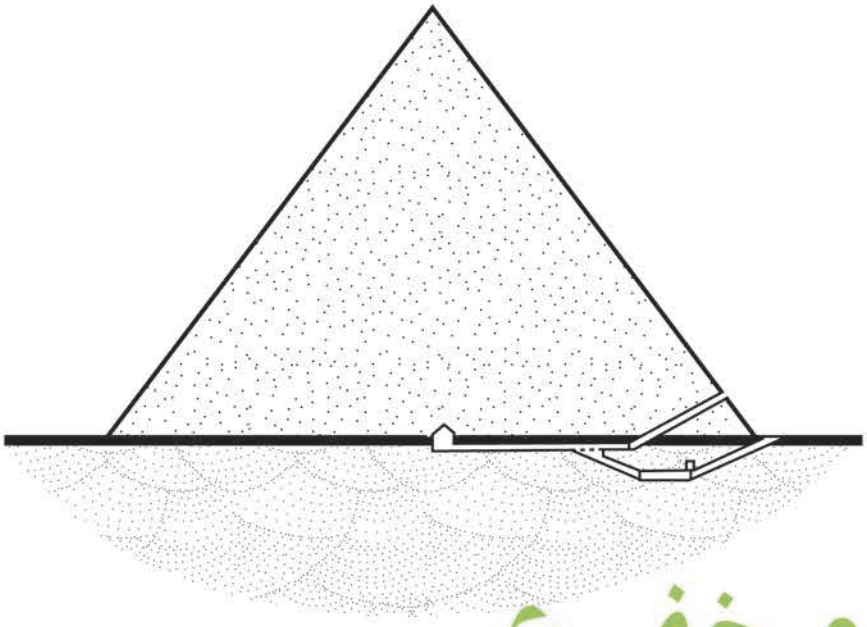
هضبة الجيزة

بناه الملك خوفو ابن الملك سنفرو ويعد أكبر هرم تم بناؤه في التاريخ، حيث بلغ ارتفاعه الأصلي 146 مترا قبل تقشير كسوته الخارجية في القرون الوسطى وقبل ازالة قمته. ويعد الهرم الوحيد الذي يضم ثلاث غرف داخل هيكله الحجري الهائل: واحدة تحت الأرض بعمق 30م تحت قاعدته، وتركت فارغة، والثانية ويطلق عليها غرفة الملكة والتي لاتزال وظيفتها محل تساؤل بين العلماء، أما الثالثة فيطلق عليها غرفة الملك وبها تابوت فارغ، وهى الغرفة الوحيدة المفتوحة أمام الزوار في الوقت الراهن. وقد تعرض الهرم قديماً لأعمال النهب. ويقع المدخل الحالي أسفل المدخل الأصلي بعشرة أمتار وهو عبارة عن فتحة نحتها اللصوص القدامى فيما يعرف بمدخل المأمون وهو الخليفة الذي أمر باستكشاف الهرم عام 820م

جانبي قاعدة الهرم: 230م.

الارتفاع: 146.59م.

الزوايا: ″40 ′50 °51



هرم خفرع

هضبة الجيزة

بناه الملك خفرع ابن الملك خوفو، وهو ثاني أكبر الأهرامات المصرية، بلغ ارتفاعه الأصلي 143.5 متراً، وله مدخلان في الجانب الشمالي، أحدهما في مستوى الأرضية والآخر يقع على ارتفاع 11 متر من مستوى سطح الأرض. المدخل الأول يفتح على ممر يطل على غرفة فرعية لم تعرف وظيفتها حتى الآن، ثم ينحني الممر حتى يصل إلي الممر العلوي، هذا التصميم الغير مألوف يرجح حدوث تغيير في التصميم أثناء البناء. لم تصمم حجرة الدفن بحيث تقع بمكان مرتفع داخل الهرم وذلك على عكس ما هو متبع في تصميم الثلاثة أهرامات السابقة، بل تم الكشف عن حجرة الدفن في صخور القاعدة، ويوجد بهذه الحجرة تابوت حجري مماثل للتابوت الموجود بهرم الملك خوفو ولكنه أجمل.

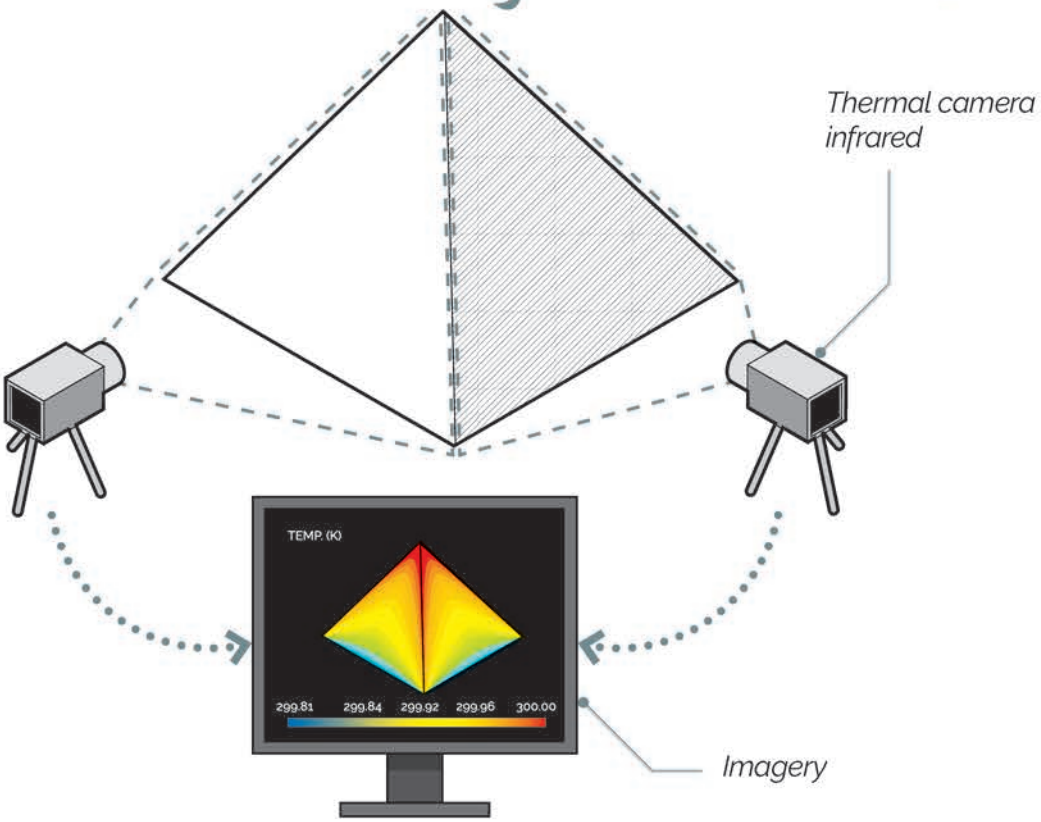
جانبي قاعدة الهرم: 215.16 م.

الارتفاع: 143.5 م.

الزوايا: ′10 °53

تقنيات مبتكرة

التصوير الحراري باستخدام الأشعة تحت الحمراء



تعد تقنية التصويرالحراري باستخدام الأشعة تحت الحمراء التي نفذها "جون كلود باريه" والمعروفة بإسم تكنولوجيا (LedLiquid) واحدة من الطرق الواعدة لفهم الآثار من الخارج، وما يوجد داخل الأثر أو يقبع خلف الواجهات. المبدأ بسيط ولكن تطبيقه يتطلب استخدام أجهزة معقدة والاستعانة بخبراء أصحاب خبرات واسعة.

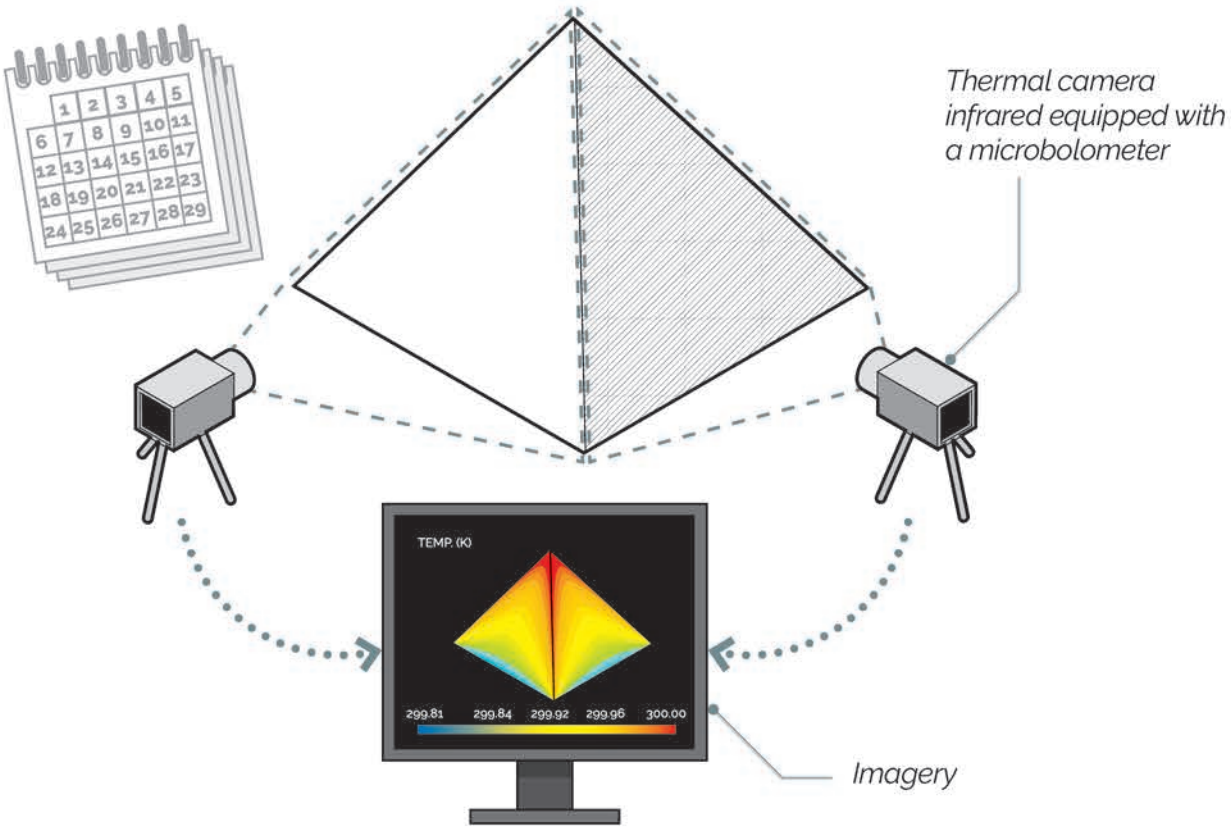
وتتأسس هذه التقنية على قاعده فيزيائية تقول: إن هناك طاقة إشعاعية تنبعث من كافة المواد، كل على حسب درجة حرارته. فينتج عن هذه الطاقه موجات أشعة تحت حمراء يمكن قياسها بكاميرات مجهزة بأجهزة استشعار. وتولد الكاميرات صور يمثل كل لون فيها درجة حرارة معينة، وتستخدم هذه التقنية لتوضيح الفقدان الحراري في المنازل ذات العزل الضعيف، وتوضيح مكان العيوب في المباني. لذا فإن تيار الهواء البارد يمثل باللون الأزرق، في حين أن المصادر الحارة يمثلها اللون الأحمر. وبإمكان هذه الكاميرات المتخصصة أيضاً تحديد الإنبعاثات الحرارية للمواد بشكل كمي. فكل ماده تمتص أو تنقل أو تعكس الإشعاع بكيفيه مختلفه، وهو ما يسمى بالبصمة الإشعاعية الحرارية. فمثلا تحت الشمس، تكون الأجزاء الداخلية لسيارة بيضاء أقل حرارة من تلك الموجودة داخل سيارة سوداء، وعليه فيوضح جون

كلود باريه " أنه في نفس درجه الحرارة، يمكن أن تختلف درجات الإشعاع الحلراري في حجر الجرانيت والحجر الجيري."

بالنسبة للأهرامات، فإن اختلافات درجة الانبعاث الحراري تساعد على التأكد من كون أسطح الأحجار (والتي تحمل نفس درجة اللون بفعل العوامل الجوية والرمال والتلوث) متماثلة أم لا. ويعلق باريه قائلاً: "أكثر ما يهمنا هو احتمالية وجود بقع باردة على الأسطح، والتي من الممكن أن تكون مجوفة، وبالتالي قد تكشف عن تجاويف أو حجرات أو ممرات داخل الآهرامات"

وهدفنا هو وضع خريطة حرارية حقيقية لأهرامات دهشور والجيزة. وهي خريطة ديناميكية، كون الأهرامات شأنها شأن باقي المباني تقوم بامتصاص الحرارة من أشعة الشمس أثناء النهار، وتشعها ثانية أثناء الليل. ويتم ذلك بالتقاط صور حرارية للواجهات الأربع للأهرامات قبل شروق الشمس بنصف ساعة، عندما يكون المبنى قد تخلى عن أكبر قدر من الطاقة الحرارية أثناء الليل ويكون في أبرد حالاته. ويتم تكرار هذه العملية وقت الظهيرة وآخر النهار. وخلال بضعة أيام، سيقوم جون كلود باريه بتسجيل مئات الآلاف من الصور الحرارية للأهرامات ووضعها على برنامج كمبيوتر يمكن من خلاله التوصل للبصمة الحرارية للأهرامات.

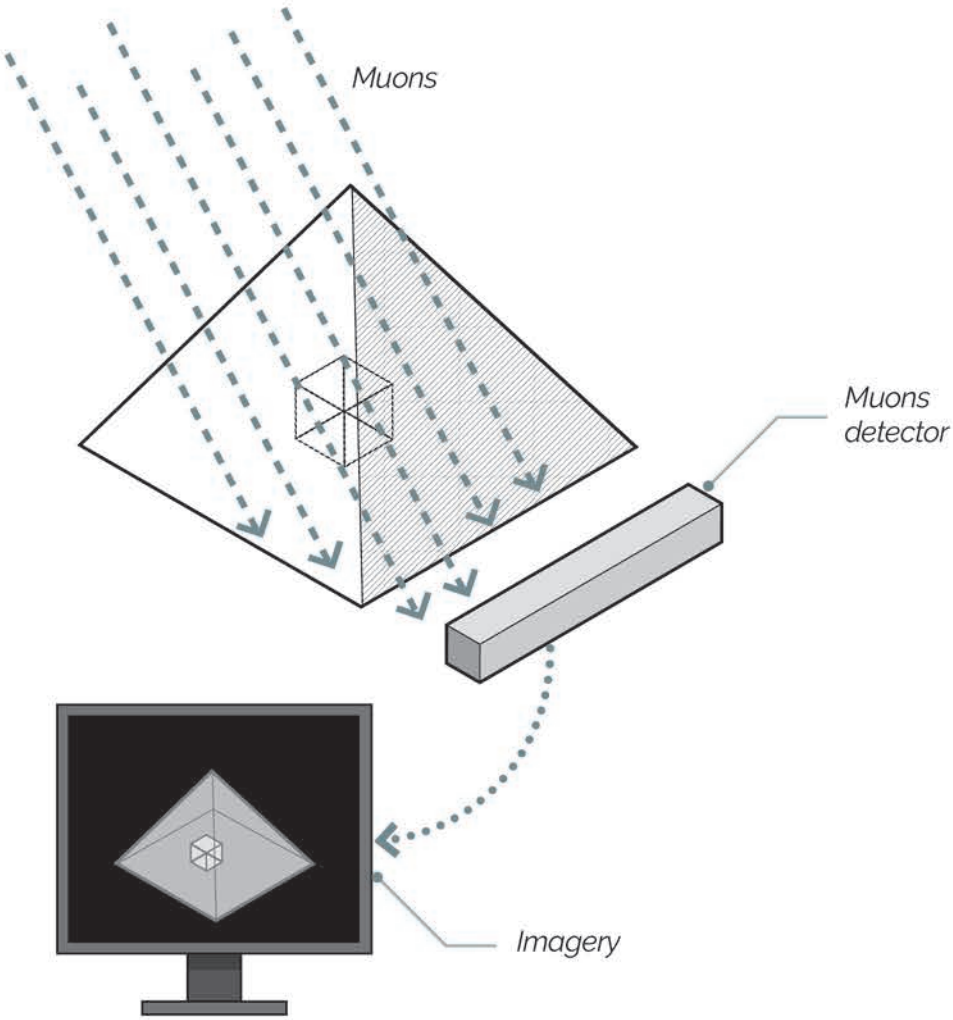
التصوير الحراري المعدّل



يشيع استخدام التصوير الحراري باستعمال الأشعة تحت الحمراء في صناعة الطائرات لاختبار المواد دون تدمير. ويتم القياس عن طريق تسخين المادة او العنصر أو الجسم المراد اختباره قليلا، وعليه فإذا كان هناك اي ماده اوجسم غريب غير مرئي، فسوف تتيح البصمة الحرارية تحديده من خلال التباين الطفيف في درجات الحرارة. ولا يمكن قياس هذه البصمة على الفور ولكنها تظهر بعد مرور فترة معينة ووفقاً لعمق الماده او الجسم الغريب عن السطح. ويتم الحصول على القياسات الحرارية عن طريق كاميرا تعمل بالأشعة تحت الحمراء حيث تقوم بتسجيل التغيرات التي تطرأ على درجة حرارة السطح في شكل صور حرارية بمرور الوقت. وهناك عدد من التقنيات المتاحة لتطوير الصور الحرارية التي تم الحصول عليها، حيث تتتبع و تحدد العناصر الغريبة. وبالمثل، توجد العديد من تقنيات التسخين لتحفيز العنصر أو الجسم الخاضع للاختبار. أحد هذه التقنيات يتألف من وضع مصدر حراري يعمل بصفه متكررة محدده مسبقا، وتسجيل الاستجابة الحرارية التي تم الحصول عليها خلال كاميرا تعمل بالأشعة تحت الحمراء. ومن ثم تتم معالجة الصور المسجلة، ويتم تقليصها لصورة واحدة تتكثف فيها كافة المعلومات المتعلقة بالخلل الداخلي للعنصر.

في حالة العناصر الكبيرة كالمباني، يكون الإشعاع الشمسي مصدراً حرارياً جيداً، يوفر تنويعات دورية طبيعية على مدى طويل (على سبيل المثال الدورة اليومية: نهار/ ليل). والأمر المثير، أنه كلما كان التنوع الدوري للحرارة بطيئاً، كانت الموجة الحرارية المتولدة التي تخترق المادة أعمق. لذا، تكون الموجة الحرارية المتولدة من دورة النهار/الليل ذات قدرة على استكشاف عده سنتيمترات داخل حائط خرساني، في حين أن التغير الحراري الناجمة عن الدورة السنوية الموسمية (درجة حرارة عالية في الصيف ومنخفضة في الشتاء) يولد موجات حرارية ذات قدرة اختراقية أعمق. ولهذا ستكون التنويعات الموسمية السنوية في درجات الحرارة هي المنهج المثالي لدراسة الأهرامات بحثاً عن تجويفات داخلية محتملة بالقرب من أسطحها.

الإستكشاف باستعمال جزيئات الميون

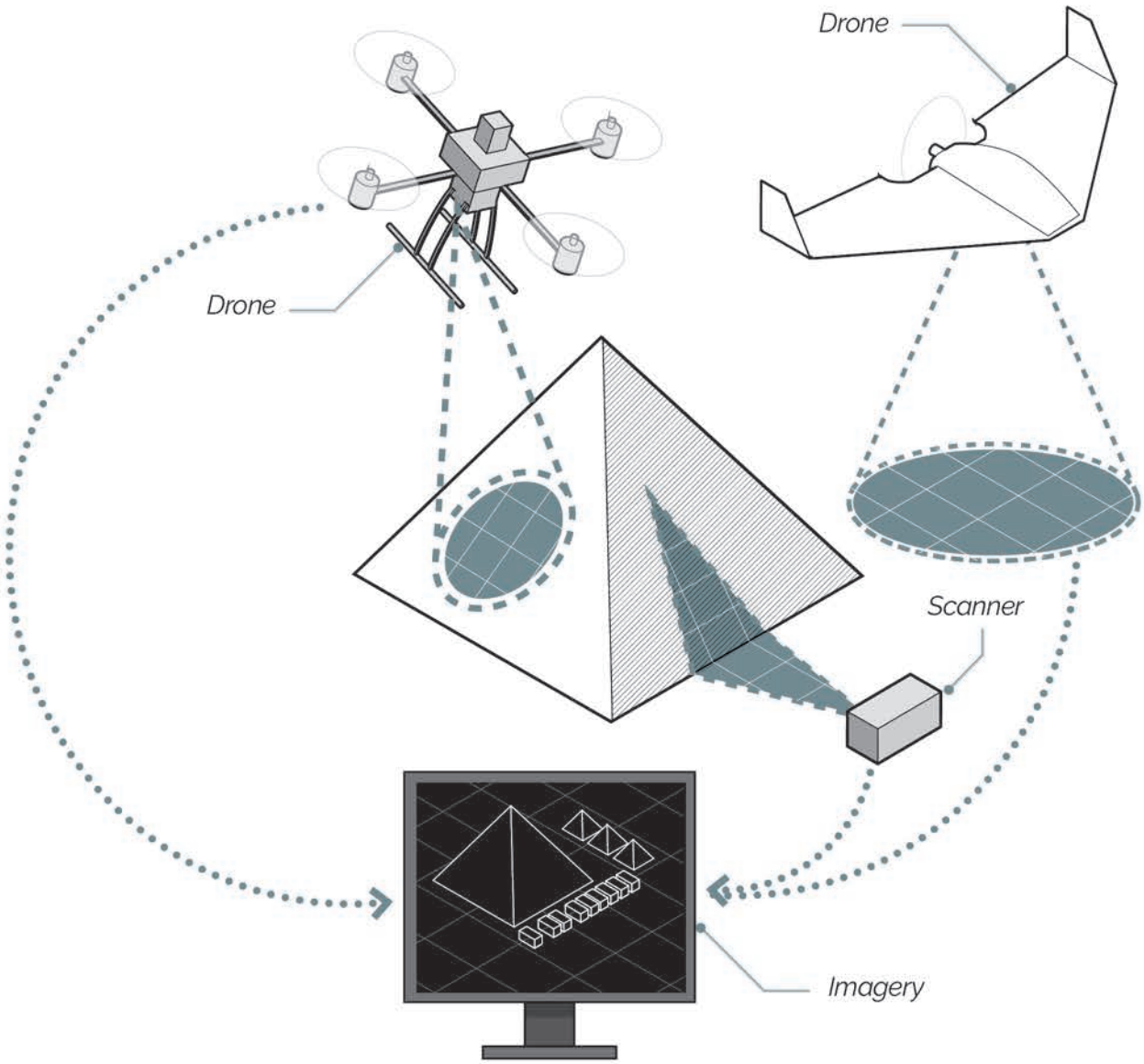


تنشأ جزيئات الميون في الطبقات العليا من الغلاف الجوي الأرضي حيث تتكون من اصطدام الأشعة الكونية مع ذرات الغلاف الجوي. وتسقط على الأرض بسرعة الضوء تقريبا وبكمية ثابته تقترب من 10000 جزيئ ميون لكل متر مربع في الدقيقة الواحدة. وكما هو الحال بالنسبة للأشعة السينية التي تمر عبر أجسادنا وتسمح برؤية الهيكل العظمي، فإنه بوسع هذه الجزيئات الأولية أن تمر بمنتهى السهولة خلال أي مبنى، حتى وان كان يتكون من أحجار كبيرة وسميكة كالجبال. فالكاشفات الخاصة بجزيئات الميون، إذا ما وضعت في أماكن ملائمة (داخل الهرم على سبيل المثال وأسفل حجرة محتملة لم تكتشف بعد) بوسعها أن تبين الأجزاء الفارغة (التي تخترقها جزيئات الميون دون عائق) عن طريق تراكم جزيئات الميون عبر الزمن وذلك من مناطق أكثر عمقاً حيث يتم امتصاص بعضها أو يتم صده. غير ان أصعب جزء في هذه التقنية هو كيفيه استقبال تلك الأشعة بدرجة حساسية عالية عن طَرِيق توظيف أفلام من أكاسيد الفضه

كتلك المستخدمة في الأفلام الفوتوغرافية، أو أنواع من المستحلبات الكيميائية، ومن ثم جمع بيانات كافية (على مدار أيام أو شهور) للتأكيد على الاختلافات المتواجدة في النسيج الصخري.

يقوم فريق علمي من جامعه "ناجويا" اليابانية باستخدام تكنولوجيا التصوير الإشعاعي بجزيئات الميون لمتابعة وملاحظة البراكين. ومؤخراً طورت KEK طريقة كشفية تعتمد على نفس التكنولوجيا لاستعمالها في استكشاف مفاعل فوكوشيما النووي.

التصوير المساحي والليزر



سيقوم المهندس إيف أوبلمان من ICONEM بدمج تقنيات عديده للرفع المساحي والليزر لرسم خرائط دقيقه ثلاثيه الأبعاد لهضبتى دهشور والجيزة، بكل آثارها وأهراماتها ومعابدها وتمثال أبو الهول.

مؤخرا قام معهد INRIA الفرنسي بتطوير تقنيات حديثه لدمج عدد كبير من الصُّور الجويه والمعلومات المساحيه في نموذج ثلاثي الأبعاد وإعاده بناء مواقع اثريه في بومبي وسوريا

وافغانستان، ويتم ذلك من خلال التقاط عدد كبير من الصور ذات الجوده العاليه، ودمج المعلومات المحتواه في تلك الصور داخل برنامج كمبيوتر يتم من خلاله الحصول على نموذج رياضي ثلاثي الأبعاد ذو دقه عاليه تصل الي عده سنتيمترات، وهو ما يسمح لنا بتحديد أماكن الآثار بمنتهى الدقة وتحديد المستويات والمنحدرات والطرق الصاعدة القديمة والممرات. كما ستعطينا هذه التضاريس الدقيقة أدلة على أماكن واشكال المباني المحتمل تواجدها واستكشافها، ويمكن ايضا من خلال هذا النموذج الرياضي ثلاثي الابعاد الاستدلال على الطريقه المثلى لترميم اي موقع اثري. ويسمح التصوير المساحي بالعمل ودمج مقاييس مختلفة مستخدمة في النموذج الرقمي كما يوضح إيف أوبلمان. ولاستكمال هذه البعثة يقوم فريق العمل بإجراء مسح ضوئي بالليزر داخل الأثار، وذلك في الأماكن المغلقة او المظلمة والتي لا يصلح فيها التصوير المساحي.

A MISSION UNDER THE AUTHORITY OF

ARAB REPUBLIC OF EGYPT
MINISTRY OF ANTIQUITIES

CONCEIVED AND COODINATED BY

FACULTY OF ENGINEERING
CAIRO UNIVERSITY

HIP
HERITAGE
INNOVATION
PRESERVATION
HIP.INSTITUTE

SCIENTIFIC PARTNERS

KEK-JAPAN

NAGOYA
UNIVERSITY

UNIVERSITÉ
LAVAL

Jean-Claude Barré
LEDLiQUiD

iconem

WITH THE SUPPORT OF

DASSAULT
SYSTEMES

NHK

Schneider
Electric

TV PRODUCTION PARTNERS

NHK

BONNE PIOCHE

francetélévisions

LOGISTIC PARTNER

MENA HOUSE HOTEL
since 1869

www.scanpyramids.org

contact@hip.institute